

Development of innovative training solutions in the field of functional evaluation aimed at updating of the curricula of health sciences schools



MÓDULO BIOMECÁNICA DE LA COLUMNA:

UNIDAD DIDÁCTICA B

Alteraciones biomecánicas de la columna



B. Alteraciones biomecánica de columna

- Introducción
- Objetivos
- Contenidos de formación
- Resumen
- Mapas conceptuales
- Bibliografía.

B. Alteraciones biomecánica de columna

Parte 1. Objetivos

1. OBJETIVOS

Los objetivos de esta unidad didáctica son:

- Conocer la biomecánica de las principales patologías de la columna cervical, torácica y lumbosacra.
- Conocer la biomecánica relacionada con las técnicas conservadoras y el tratamiento de las principales patologías de la columna.
- Conocer la biomecánica relacionada con la intervención quirúrgica de las principales patologías de la columna.

B. Alteraciones biomecánica de columna

Parte 2. Biomecánica de las principales patologías de la columna cervical

2.1. INTRODUCCIÓN

Existe una variedad de patrones de lesiones reproducibles según la dirección y la magnitud de la fuerza aplicada al segmento más alto de la columna. :

- Flexión
- Flexión lateral
- Extensión
- Compresión
- De cizalla
- De rotación

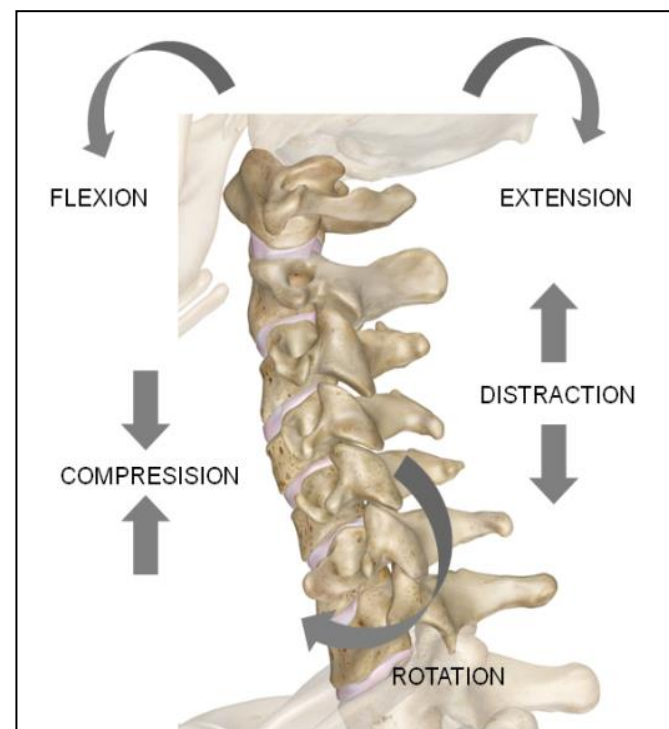


Figura 1. Mecanismos de lesión de la columna cervical
(extraído de www.innerbody.com)

2.2. LESIONES DE LA COLUMNA CERVICAL SUPERIOR

1/3 del total de lesiones cervicales



40% de estas lesiones resultan en muerte

Nivel de lesión de la columna cervical

Fracturas de cóndilos del hueso occipital

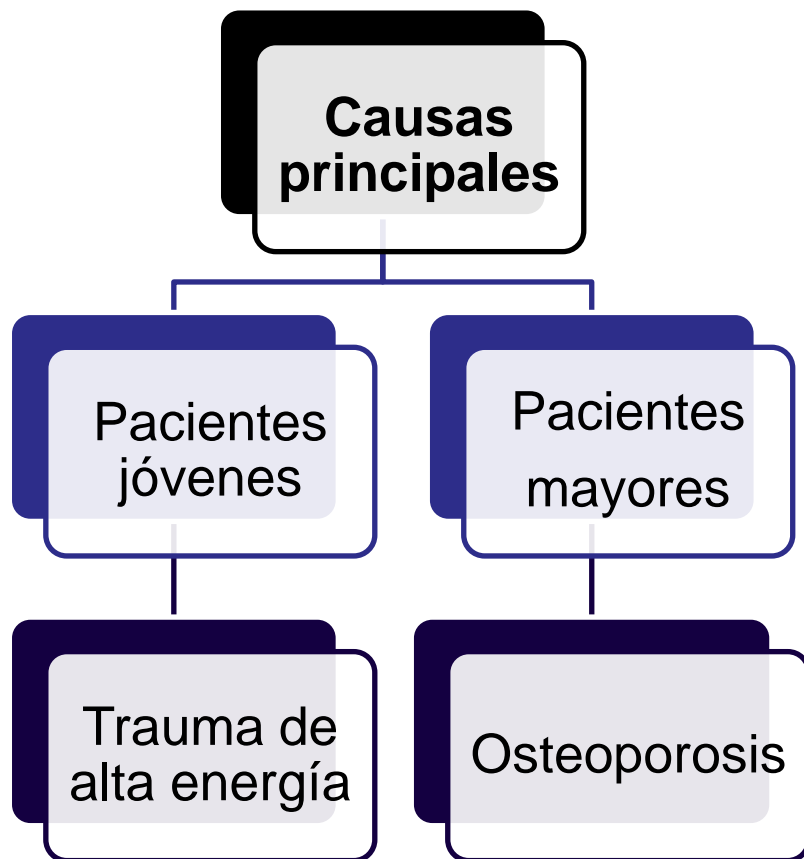
Luxación atlantooccipital

Fracturas del Atlas

Luxación atlantoaxial

Fracturas del axis

2.2. LESIONES DE LA COLUMNA CERVICAL SUPERIOR



Mecanismo principal de la lesión

- Hiperflexión
- Hiperextensión
- Flexión lateral
- Rotación
- Combinación de todas

2.2.1. FRACTURAS DE CÓNDILOS DEL HUESO OCCIPITAL

Fracturas del cóndilo occipital (FCOs)



- Lesión traumática rara
- Asociado con inestabilidad
- Complejo articular occipitoatlantoaxial
- Fácilmente no detectado bajo radiografías pero detectado con tomografía computarizada.

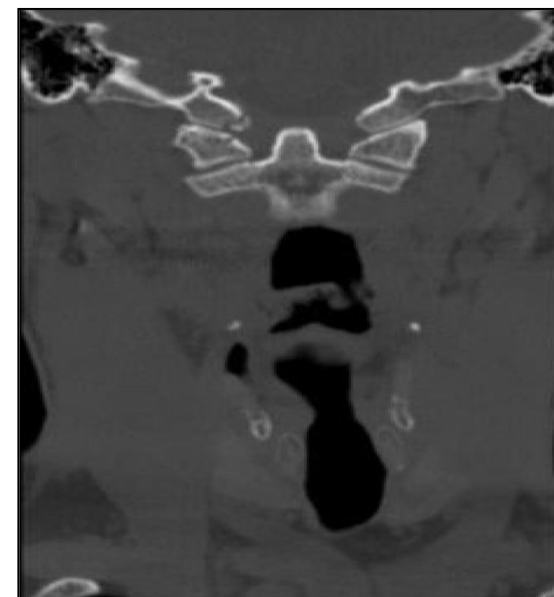


Figure 2. Tomografía computarizada de una fractura mínimamente desplazada del cóndilo occipital medial inferior derecho.

(de Muhammad Waseem *et al.* 2014)

2.2.1. FRACTURAS DE CÓNDILOS DEL HUESO OCCIPITAL

Tabla 1: Anderson y Montesano (1988) Clasificación de OCF

Tipo	Descripción	Biomecánica	Estabilidad
I	Impactación	Resultados de la carga axial; el ligamento alar ipsilateral puede verse comprometido, pero la estabilidad se mantiene mediante el ligamento alar contralateral y la membrana tectorial.	Fractura estable
II	Extensión de la base del cráneo	Se extiende desde el hueso occipital a través del cóndilo hasta entrar en el foramen magnum; la estabilidad es mantenida por ligamentos alares intactos y membrana tectorial	Fractura estable
III	Avulsión	Se extiende desde el hueso occipital a través del cóndilo hasta entrar en el foramen magnum; la estabilidad es mantenida por ligamentos alares intactos y membrana tectorial	Fractura inestable

2.2.1. FRACTURAS DE CÓNDILOS DEL HUESO OCCIPITAL

Clasificación de Anderson and Montesano		Clasificación de Tuli et al.	
I	II	1	No desplazada - Estable
		2A	Desplazada - Estable; sin evidencia radiográfica, de TC o de RM de la inestabilidad occipitoatlantoaxial o rotura de ligamentos
	III	2B	Desplazada - Inestable; Evidencia positiva de imágenes radiográficas, CT o MR de la inestabilidad occipitoatlantoaxial o rotura ligamentosa

Figura 3. Tuli et al. (1997) Clasificación de las fracturas del cóndilo occipital. De Hanson J.et al. 2002

2.2.2. DISLOCACIÓN ATLANTOOCIPITAL

Dislocación atlantooccipital (DAO) o Disociación occipital (DOC)



- Disociación del occipucio de la columna cervical.
- Producido en fuerzas de distracción y extensión aplicadas al occipucio en relación con el atlas.
- Mecanismo de lesión en desaceleraciones rápidas.
- DAO comúnmente en niños:
 - Por su relación cabeza-cuerpo.
 - Debido a sus cóndilos occipitales son más pequeños.
 - Los ligamentos occipitales son más laxos.
 - Debido a sus uniones craneovertebrales son más horizontales.

2.2.2. DISLOCACIÓN ATLANTOOCIPITAL

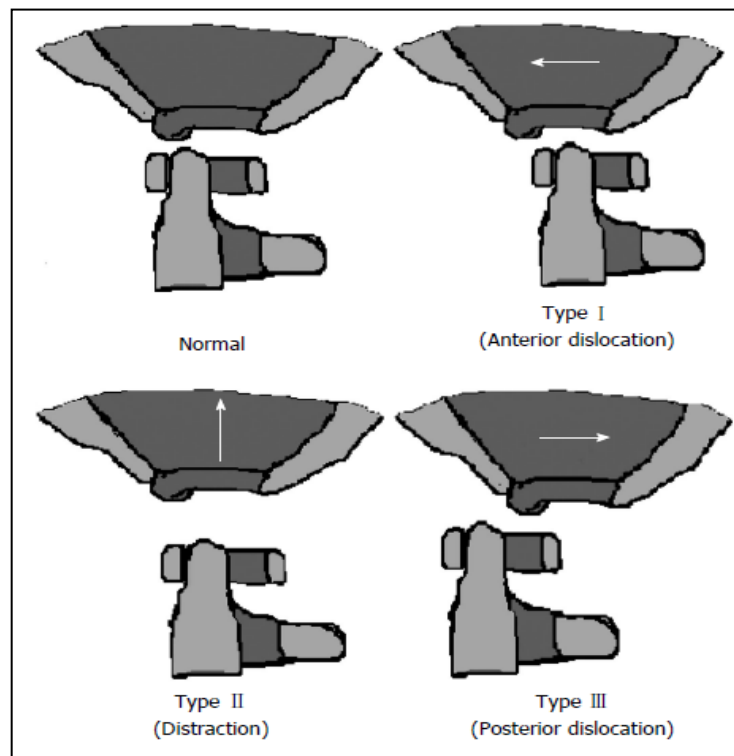


Figura 4. La clasificación de Traynelis para la luxación Atlanto Occipital (de Hall GC. et al. 2015)

2.2.3. FRACTURA DEL ATLAS

Fracturas del Atlas



- Carga axial traumática a través del occipucio
- También producido por fuerzas de extensión, flexión y rotación.
- Dependiendo de la diferente combinación de fuerzas, puede ocurrir una fractura del arco anterior o posterior o una fractura de masa unilateral.

2.2.3. FRACTURA DEL ATLAS

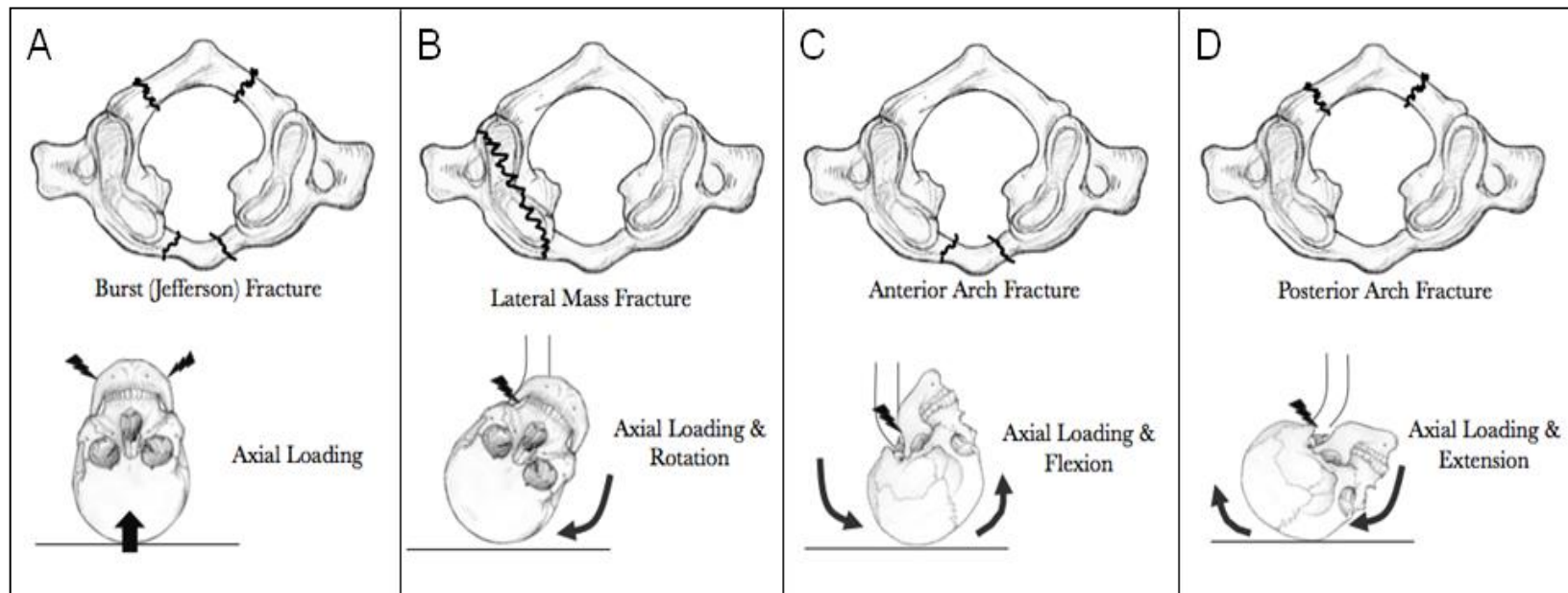


Figura 5. Fracturas vertebrales del atlas. A: Fractura de Jefferson producida por fuerza axial. B: fractura de masa lateral producida por carga axial y rotación. C: fractura del arco anterior producida por fuerza axial y de flexión. D: Fractura del arco posterior producida por fuerza axial y de extensión. (Imagen de: www.ebconsult.com.)

2.2.4. DISLOCACIÓN ATLANTOAXIAL

Dislocación atlantoaxial



- Referido a la inestabilidad entre atlas y axis (C1-2)
- Las anomalías traumáticas, inflamatorias, idiopáticas o congénitas pueden producir inestabilidad.
- Lesión extremadamente rara por trauma si no hay una lesión preexistente.
- Rotura del ligamento transverso del Atlas.
- También se puede producir una lesión poco común de los ligamentos alar y apical debido a una lesión del ligamento transverso.

2.2.4. DISLOCACIÓN ATLANTOAXIAL

Tabla 2: Signos clínicos de luxación atlantoaxial (Yang et al. 2014)

Señales menos serias	Señales moderadas	Señales más severas
<ul style="list-style-type: none"> • Aproximadamente el 50% de los pacientes presentan dolor de cuello y / o restricción del movimiento del cuello • El 70% de los pacientes presentan debilidad y / o entumecimiento • El 90% de los pacientes presentan signos piramidales 	<ul style="list-style-type: none"> • Alteraciones del esfínter • Disfunción del par craneal inferior • Dificultad respiratoria 	<ul style="list-style-type: none"> • Mielopatía • Insuficiencia respiratoria • Disección de arteria vertebral • Compromiso neurológico • Rara vez cuadriplejia • Muerte si no se trata

2.2.4. DISLOCACIÓN ATLANTOAXIAL

Intervalo Atlantodental(IAD)

Pequeño espacio en forma de hendidura entre la cara posterior del anillo del atlas anterior y la cara anterior de la apófisis odontoides

Medido por radiografía de flexión y extensión del cuello.

Medición de radiografía sagital. Desde una línea proyectada superiormente a lo largo del borde anterior hasta el cuerpo del axis hasta el arco anterior del atlas.

IAD es constante durante los movimientos de la cabeza. Normalmente 3 mm en adultos, 5 mm en niños.

El 70% de la clínica atlantoaxial se debe a una luxación anterior.

2.2.4. DISLOCACIÓN ATLANTOAXIAL

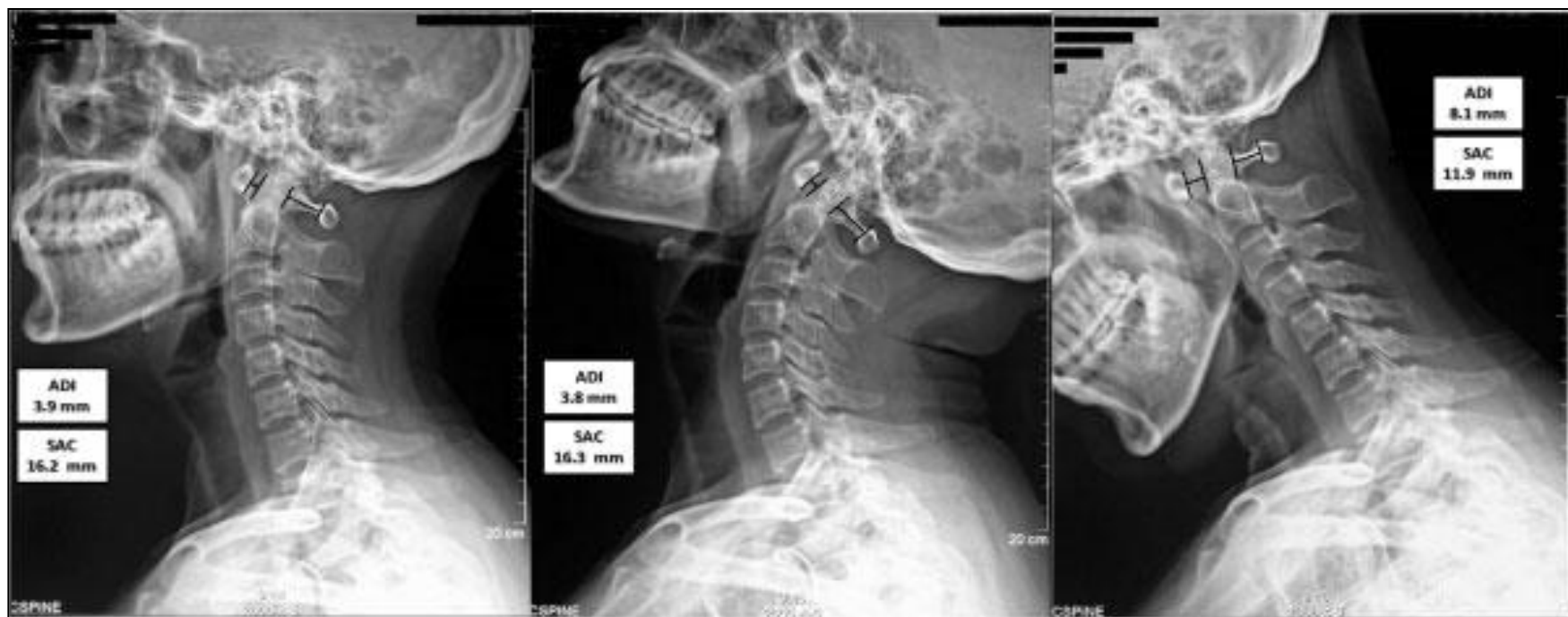


Figura 6. IAD durante el movimiento de la columna cervical en flexo-extensión (de Yang et al. 2014)

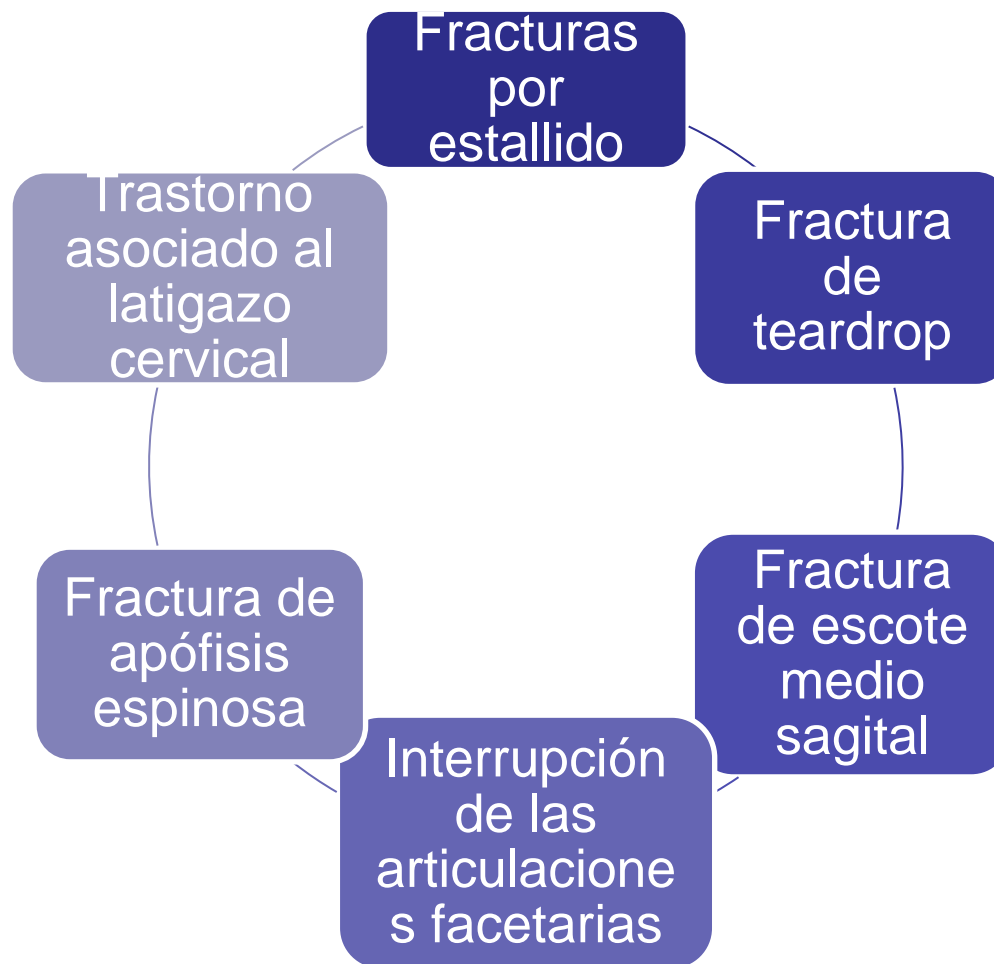
2.2.5. FRACTURA DEL AXIS

Fractura del axis



- La fractura más común de la columna vertebral (10% de todas las lesiones de la columna).
- Clínicamente silenciosos a menos que causen compresión de la médula espinal.
- La fractura odontoidea puede ser causada tanto por fuerzas de extensión como de flexión.
- La lesión de los ligamentos longitudinales alar, transversal, anterior y posterior puede producir un complejo C1-2 inestable.
- La espondilolistesis traumática del axis crea una inestabilidad dramática.
- La cervical inferior compensa el equilibrio sagital alterado de la columna cervical superior.

2.3. LESIONES DE LA COLUMNA CERVICAL INFERIOR



2.3.1. FRACTURAS DE ESTALLIDO

Fuerza de carga axial en la columna cervical

Posición del cuello en neutral. No se aplica fuerza de flexión

Fractura de compresión

El cuerpo de las vértebras de C3 a T1 puede resultar lesionado

El complejo ligamentoso posterior permanece intacto

La fuerza mantenida puede retropulsar el cuerpo vertebral causando lesión de la médula espinal



Figura 7. TC sagital que muestra fractura por estallido C5-6 con compromiso del canal de la médula espinal (de Neupsykey.com)

2.3.2. FRACTURA TEARDROP

Producido en fuerzas de flexión y compresión axiales mixtas

Porción posterior del cuerpo vertebral retro pulsada hacia el canal

Subluxación posterior del cuerpo vertebral

Cifosis aguda

Rotura del ligamento longitudinal anterior y posterior

Alta incidencia de cuadriplejia

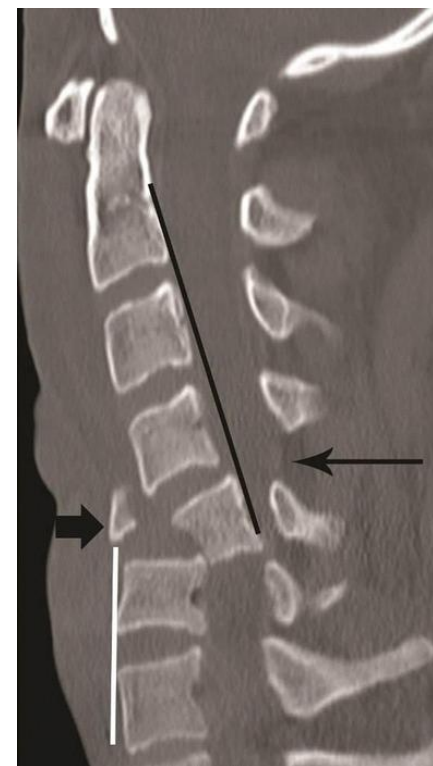


Figura 8. TC sagital fractura teardrop en paciente joven (de ResearchGate.com)

2.3.3. FRACTURA POR HENDIDURA SAGITAL MEDIA

Variación de fractura en estallido

Generalmente se observa en la columna cervical inferior (C4-5-6)

La forma de anillo óseo cerrado C4-5-6 determina esta fractura

Fractura de la lámina y rotura de la articulación facetaria debido a la fractura del cuerpo vertebral

Lesión muy inestable y brillante.

Las partes óseas del cuerpo a menudo chocan con la médula espinal.

2.3.4. DISRUPCIÓN DE LAS ARTICULACIONES FACETARIAS

Las fuerzas de flexión / extensión combinadas con las fuerzas de rotación pueden producir una dislocación facetaria.

Niveles de C4-5 o C5-6 generalmente afectados.

Las facetas inferiores de la vértebra superior se deslizan sobre la vértebra inferior

Puede implicar una fractura en una o ambas facetas vertebrales.

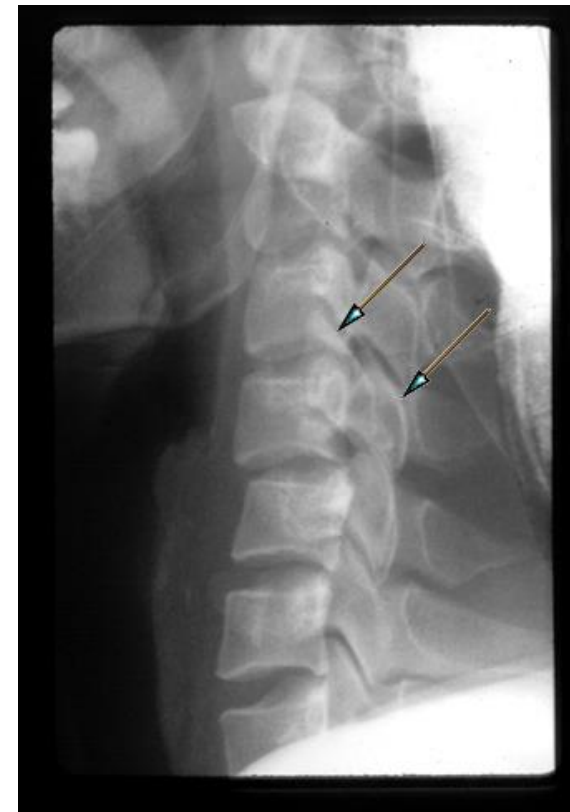
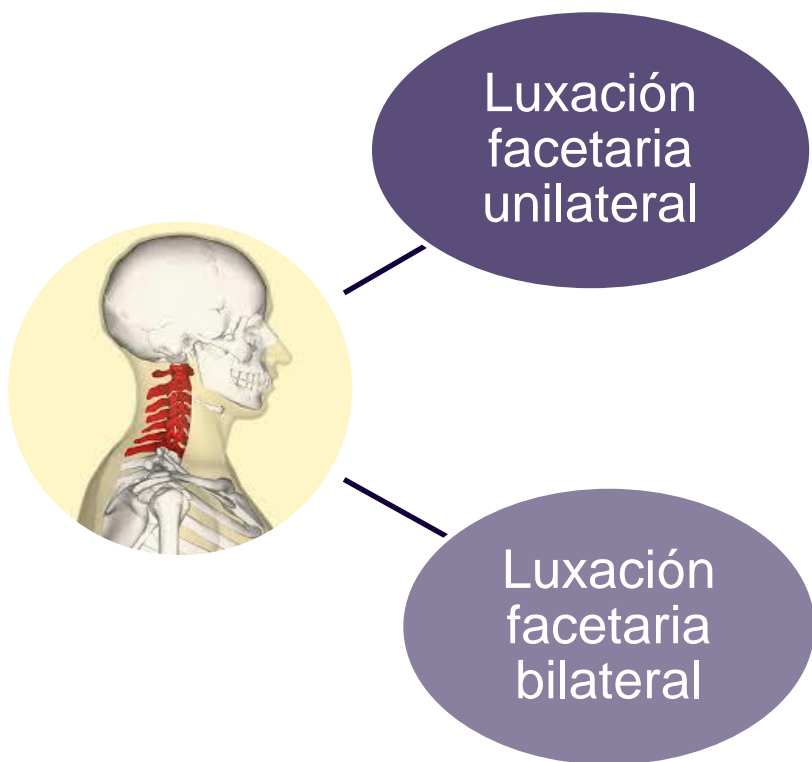


Figura 9. Luxación facetaria bilateral (de Orthobullets.com)

2.3.4. INTERRUPCIÓN DE LAS ARTICULACIONES FACETAS



- Las fuerzas que actúan son principalmente flexión y rotatoria.
- A menudo, síntoma de monorradiculopatía
- Las fuerzas que actúan son principalmente flexión / distracción.
- Menos fuerzas de rotación que en la dislocación unilateral.
- Las fuerzas que actúan permiten que las cervicales superiores se disloquen anteriormente sobre las cervicales inferiores.

2.3.5. FRACTURA DE APOFISIS ESPINOSA

Rotura de una o más apófisis espinosas cervicales.

Generalmente conocida como "fractura de excavadora"

Fuerza de gran magnitud transmitida desde la cintura escapular hasta la apófisis espinosa

Fractura generalmente ubicada en C6-7 debido a sus procesos espinosos más largos

Las apófisis espinosas no pueden soportar un momento flexor elevado

Fractura cerca del cuerpo vertebral

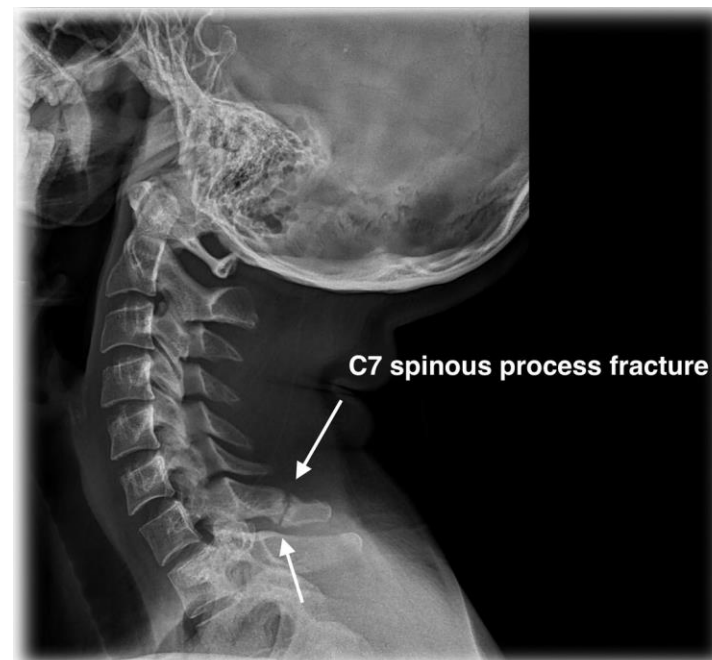


Figura 10. Fractura de la apófisis espinosa C7 (de earthlab.com)

2.3.6. SÍNDROME ASOCIADO A LATIGAZO CERVICAL

Término para describir las manifestaciones clínicas de la lesión por latigazo cervical

Mecanismo de aceleración-desaceleración de la transferencia de energía al cuello

Producido por colisiones de vehículos de motor de impacto lateral o trasero

También se produce durante las actividades de buceo.

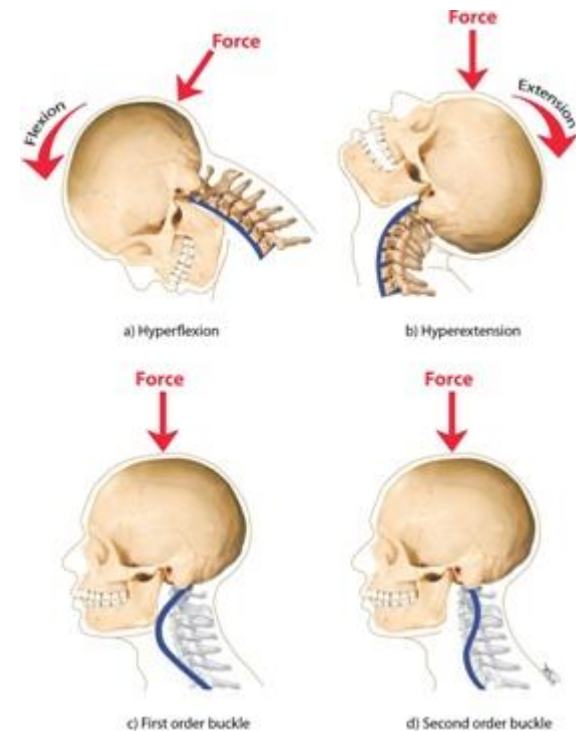


Figura 11. Mecanismo de latigazo cervical y fuerza vectorial aplicada (de activephysiotherapy.com)

2.3.6. SÍNDROME ASOCIADO A LATIGAZO CERVICAL

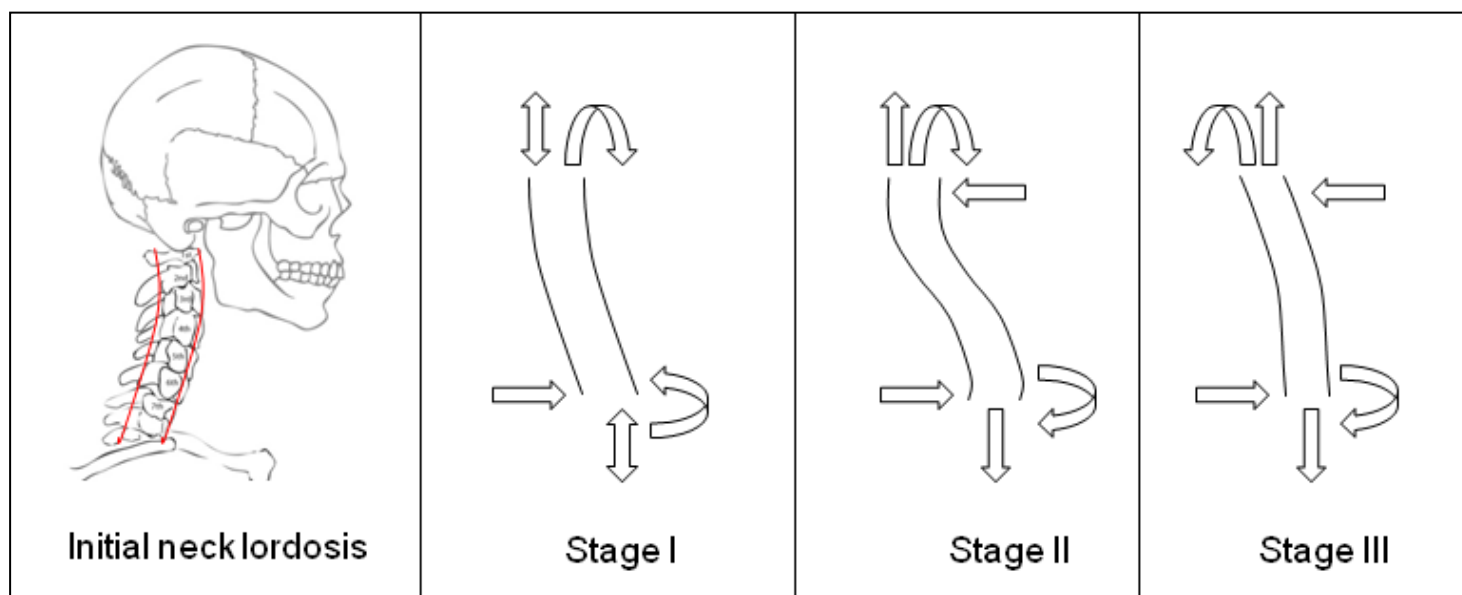


Figura 12. Modelos de deformación del cuello y diagramas de fuerza y momento en tres etapas de un impacto trasero (de Luan F. et al. 2009)

2.3.6. SÍNDROME ASOCIADO A LATIGAZO CERVICAL

Tabla 3: Fases y eventos de cinemática durante un impacto trasero (Kaneoka K. et al 2002)

Fase 1: Movimiento de deslizamiento	Fase 2: Fuerza axial del cuello	Fase 3: Fuerza axial y cortante	Fase 4: Extensión completa
0-40 ms	40-100 ms	100-160 ms	150-220 ms
a. El asiento comienza a presionar la espalda del voluntario.	a. El torso se mueve hacia adelante, empujado por el respaldo del asiento.	a. El trineo ralentiza los rebotes del torso y avanza con cierta rotación hacia atrás.	a. El torso se mueve hacia adelante y hacia abajo.
b. La columna vertebral comienza a enderezarse	b. El torso se mueve hacia arriba, paralelo a la inclinación del asiento, provocando una compresión axial de la columna cervical debido a la inercia de la cabeza, que alcanza un máximo.	b. La fuerza axial en el cuello disminuye mientras que la fuerza cortante en el cuello alcanza un pico en aproximadamente 120 ms	b. La rotación de la cabeza y el cuello alcanza una extensión completa.
c. No se ha producido movimiento cervical	c. La cabeza permanece inmóvil por inercia, con una ligera flexión inicial.	c. La cabeza comienza a girar en extensión.	c. Disminución de las fuerzas cortantes y axiales en el cuello.
d. Sin respuesta muscular en el cuello.	d. C6 gira antes en extensión que los segmentos vertebrales superiores (C3, C4 y C5)	d. La columna cervical se alinea en extensión.	d. La descarga muscular termina en unos 220 ms.
	e. Las vértebras del cuello adoptan una forma de "S" con la región superior en flexión y la región inferior en extensión.	e. La EMG del esternocleidomastoideo se descarga desde aproximadamente 115 ms	
	f. Sin respuesta muscular en el cuello.		

B. Alteraciones biomecánica de columna

Parte 3. Alteración biomecánica de la columna torácica y lumbar

3.1. FRACTURAS DE PLATILLO VERTEBRAL (INFERIOR Y SUPERIOR)

Ubicado principalmente en la columna torácica y lumbar superior.

Producido por compresión axial, fuerzas de flexión o una combinación de ambos.

Fracturas localizadas en la zona central, zona periférica o transversales a la placa terminal.

Desempeña un papel principal en la fractura por estallido.

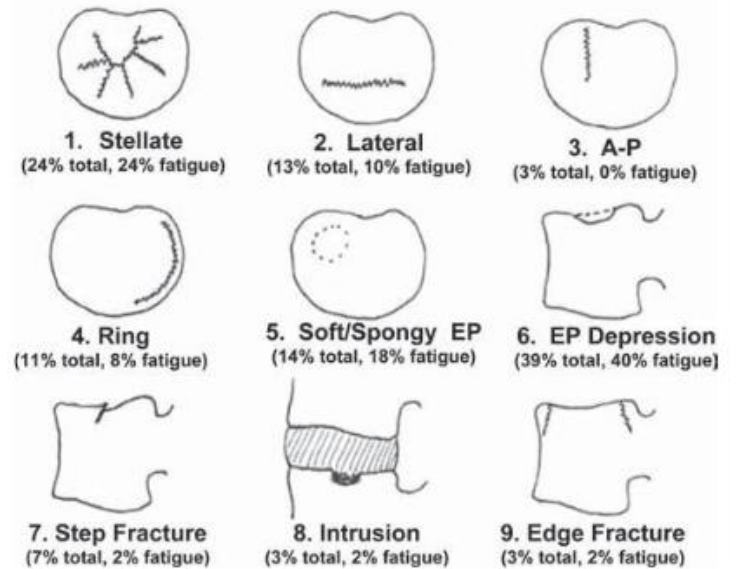


Figura 12. Sistema de clasificación de fracturas del platillo vertebral (de Gallagher S. et al. 2005)

3.2. FRACTURAS DE ESTALLIDO

Producida por fuerzas de compresión de gran magnitud.

Insuficiencia del cuerpo vertebral anterior y posterior, pérdida de altura corporal y retropulsión.

T11 a L2 es biomecánicamente el segmento más débil contra esta fractura.

Signos neurológicos más bajos que en la fractura por estallido de la columna cervical.

Puede ser estabilizada por el ligamento longitudinal posterior.

Clasificado como mecánico, neurológico o combinado.

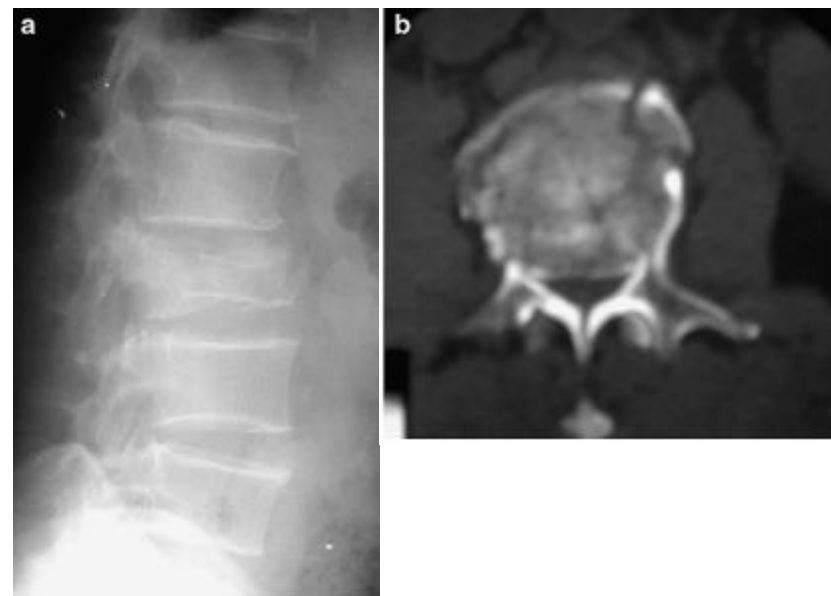


Figura 13. a) La radiografía lateral muestra una fractura por estallido de L2 en un hombre de 59 años. b) La imagen de TC axial demuestra un compromiso del 70% del canal. Imagen de Altay M. et al. 2007.

3.3. FRACTURAS DE CUÑA

Producida por una fuerza de compresión axial combinada con un momento de flexión

Fallo mecánico en la región anterior del cuerpo vertebral.

La línea de acción de la fuerza compresiva se coloca anterior al cuerpo vertebral.

Por lo general, daño de los ligamentos posteriores.

Fractura común en pacientes con osteoporosis.

T12-L1 tiene la mayor incidencia de fracturas debido a una mayor capacidad de carga



Figura 14. Fractura en cuña por compresión por reconstrucción multiplanar sagital. La lesión no afecta a los elementos posteriores. Imagen de González-Montané J.L. 2014.

3.4. LESIONES POR CINTURONES DE SEGURIDAD

Lesión común del área de la unión toracolumbar

Fractura resultado de una hiperflexión mezclada con una fuerza de distracción

Consecuencias como daño de ligamentos, fractura ósea o fractura-dislocación ósea

La rotura de ligamentos con luxación facetaria es inestable

3.4. LESIONES POR CINTURÓN DE SEGURIDAD

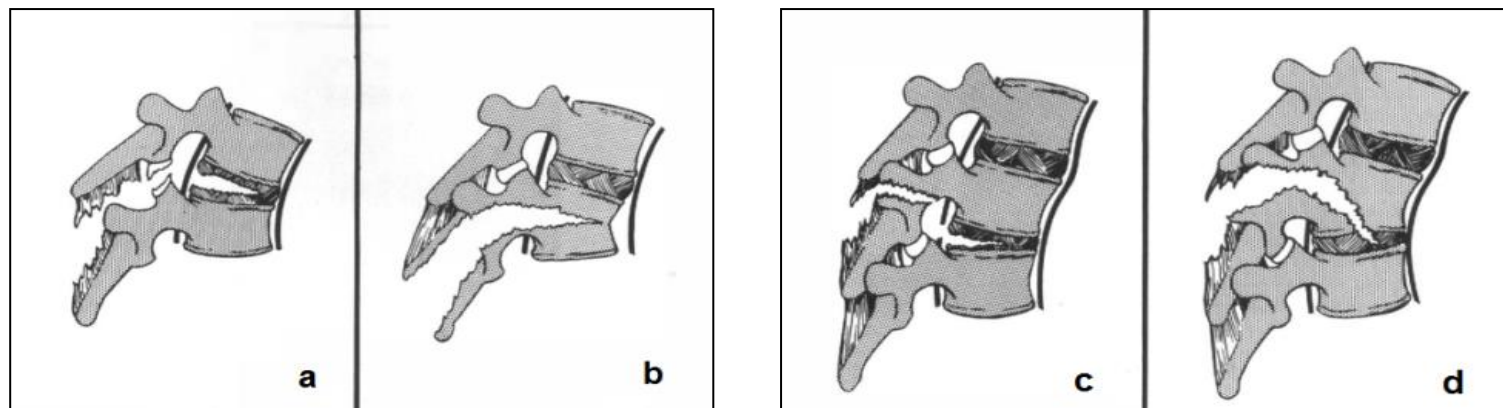


Figura 15. Clasificación de fracturas de cinturones de seguridad. a: rotura ligamentosa pura con luxación facetaria. b: Posibilidad de fractura con fractura horizontal del hueso. c: Traumatismo del complejo ligamentoso posterior, pedículo y disco. d: Lesión del complejo ligamentoso posterior, pedículo, lesión corporal y discal. A y B son lesiones en un nivel. C y D son lesiones en dos niveles. Imagen de Yu WY. et al. 1986

B. Alteraciones biomecánica de columna

Parte 4. Consideraciones biomecánicas después de la intervención de la columna

4.1. INTERVENCIÓN CERVICAL SUPERIOR

Complejo occipucio-C1-C2

- La porción más móvil de la columna cervical.
- Hace la mayor contribución a la flexión-extensión.

Complejo C1-C2

- La rotación axial como su principal contribución al movimiento.

4.1. INTERVENCIÓN CERVICAL SUPERIOR

Fusión occipitocervical

- Indicación principal de este procedimiento: inestabilidad de la unión craneocervical.
- Trastornos como traumatismos, neoplasias, artritis reumatoide, anomalías congénitas, de enfermedades infecciosas.

Previene

- Compresión de las estructuras neurales.
- Deformidades cervicales.
- Reducción del dolor.

Complicaciones

- Restricción de la movilidad cervical.
- Disnea o disfagia.

4.1. INTERVENCIÓN CERVICAL SUPERIOR

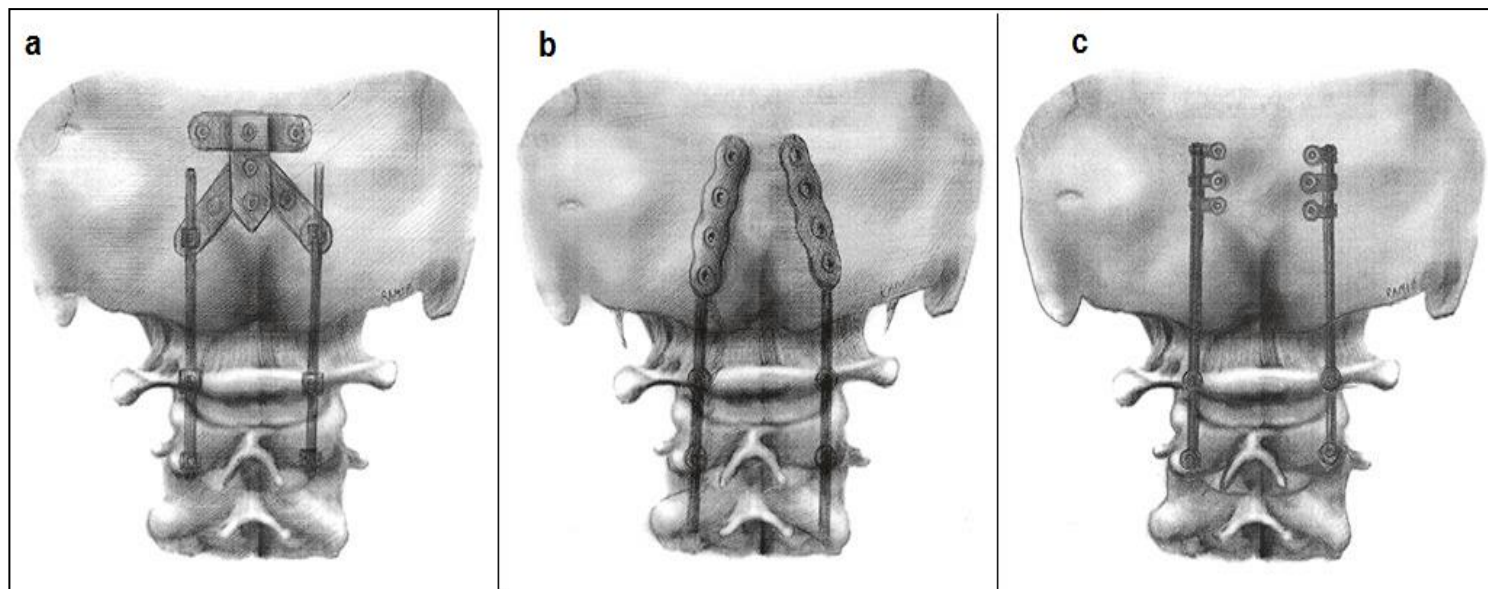


Figura 16. Las construcciones basadas en tornillos más comunes. (a) Placa occipital. (b) Varillas articuladas con un extremo de placa occipital integrado. (c) Conectores de ojal dirigidos medialmente. Imagen de Ashafai NS. et al. 2019.

4.2. INTERVENCIÓN CERVICAL INFERIOR

Inmovilización o reemplazo articular

- Puede afectar niveles adyacentes debido a cambios biomecánicos.

Experiencias de investigación

- No se observó una diferencia promedio de movimiento segmentario entre las intervenciones (Nabhan A. et al)
- El 25,6% de los pacientes con fusión cervical anterior desarrollarían una nueva enfermedad sintomática en los segmentos adyacentes dentro de los 10 años..

4.2. INTERVENCIÓN CERVICAL INFERIOR

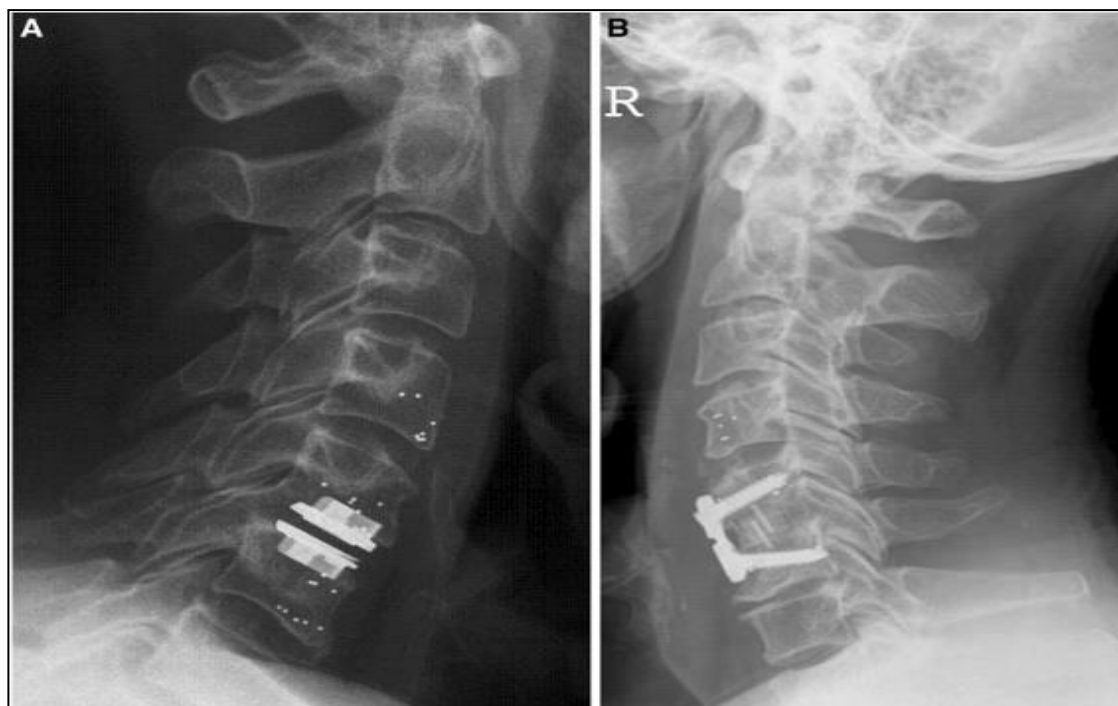


Figura 17. Radiografía lateral de columna acervical que muestra los marcadores del tantalio del cuerpo vertebral C4, C5 y C6. a - Marcadores de tantalio incorporados después del reemplazo del disco. b - Lo mismo con la fijación con placa de titanio. Imagen del estudio de Nabhan A. et al (2011).

4.3. INTERVENCIÓN TORÁCICA Y LUMBAR

Fusión espinal

- El nivel T12-L1 es la zona de intervención más habitual.
- Técnica satisfactoria a corto plazo.
- Dificultades a largo plazo en niveles adyacentes.
- La degeneración sintomática es una de las causas más frecuentes de cirugía adicional.

Alineación espinopélvica

- Afecta la carga espinal.
- Su relación con la degeneración del disco y la degeneración del segmento adyacente es muy discutida.
- La hipolordosis lumbar es un factor de riesgo independiente para la progresión de la degeneración del disco.

4.3. INTERVENCIÓN TORÁCICA Y LUMBAR

Experiencias de investigación

- Se Jin Choi et al. (2018) sugieren que L4-5 y L5-S1 contribuyen a la extensión de la columna y al ROM de flexión lateral, pero no tienen un papel significativo en los movimientos de flexión de la columna.
- El estudio de Obid P. et al (2017) determina la pérdida de movilidad segmento por segmento en tres sistemas de instrumentación para la fusión de la columna lumbar de T11 a L5.
- No está probado que las construcciones híbridas limiten la ROM más que la instrumentación rígida.

4.3. INTERVENCIÓN TORÁCICA Y LUMBAR

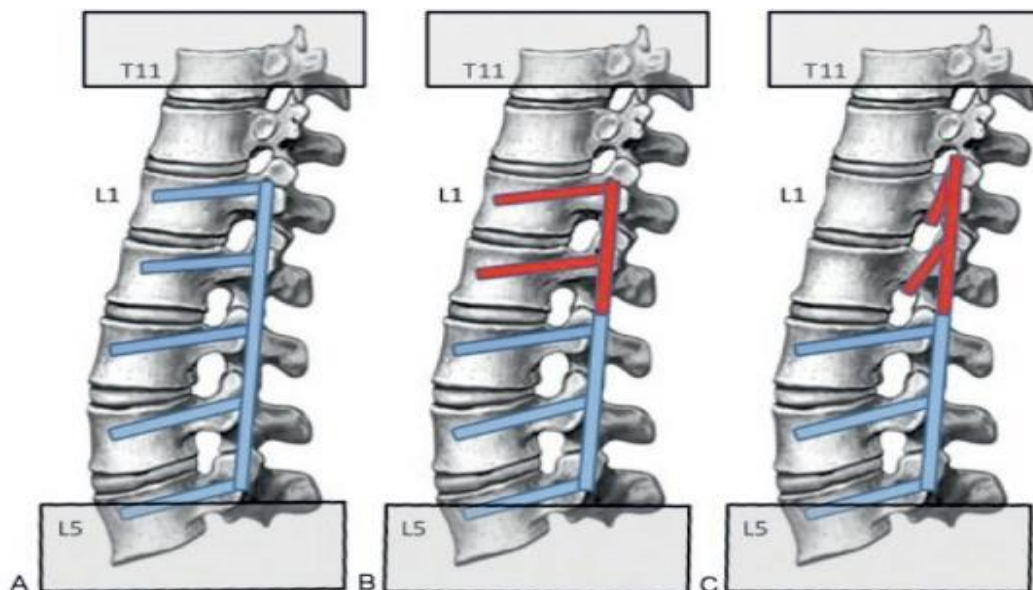


Figura 18. Resumen esquemático que muestra la configuración de los tres grupos de prueba del estudio de Obid P. et al. (2017). (A) Grupo R: instrumentación rígida de cuatro niveles; (B) grupo D: instrumentación rígida de dos niveles (L3-L5) combinada con el sistema Elaspine (Spinelab AG, Winterthur, Suiza) (L1-L3); y (C) grupo H: instrumentación rígida de dos niveles (L3 – L5) combinada con ganchos laminares (L1 – L3).

5. IDEAS CLAVE

- Existen diferentes tipos de lesiones en la columna cervical dependiendo de la dirección y magnitud de la fuerza que se aplica sobre la columna: flexión, extensión, compresión, distracción, rotación..
- Las lesiones de la columna cervical superior comúnmente resultan en la muerte (alrededor del 40%) y porque el tipo de lesión puede dañar áreas importantes del sistema nervioso central. Las lesiones más referenciadas en la literatura son: Fracturas de cóndilos del hueso occipital, Luxación atlantooccipital, Fracturas del Atlas, Luxación atlantoaxial y Fracturas del eje.
- Las lesiones de la columna cervical inferior representan una amplia gama de patrones de lesión y grados de inestabilidad, siendo las más comunes: las fracturas por estallido, las fracturas en forma de lágrima, la fractura por escote medio sagital, la ruptura de las articulaciones facetarias, la fractura por apófisis espinosa y el latigazo cervical. -trastorno asociado.

5. IDEAS CLAVE

- La gran diferencia entre la columna cervical y las zonas torácica y lumbar que esta última tiene una rigidez que no tiene la columna cervical, por lo que los mecanismos de lesión son muy diferentes entre ellas.
- En las regiones torácica y lumbar las lesiones más frecuentes suelen ser: las fracturas de la placa terminal, las fracturas en estallido, las fracturas en cuña y las lesiones del cinturón de seguridad típicas de la unión toracolumbar.
- Los tratamientos médicos aplicados a las lesiones de la columna generalmente pueden ser conservadores o quirúrgicos, según la gravedad de la lesión y la estabilidad del segmento vertebral dañado. Diferentes decisiones médicas pueden tener un impacto importante en la funcionalidad, ya que producirán cambios biomecánicos en la función vertebral para reparar o estabilizar la lesión.

5. IDEAS CLAVE

- En la columna cervical superior, las técnicas de inmovilización pueden llegar a restringir la movilidad cervical hasta el 40% de la flexión-extensión cervical total, y si el occipucio-C1 y C2 están involucrados, la limitación puede llegar al 60% de la rotación cervical total y al 10% de la rotación lateral total. flexión.
- En la columna cervical inferior, las intervenciones más graves, como la fusión, traen consigo la enfermedad del segmento adyacente, lo que induce estrés, carga y presión intradiscal en los niveles adyacentes al sitio de fusión.
- En la columna torácica y lumbar, las intervenciones más severas también limitan la movilidad, siendo sitios de fusión críticos para la pérdida de función T11-L5, L4-L5 y L5-S1.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Anderson P.A., and P.X. Montesano. Morphology and Treatment of Occipital Condyle Fractures. Spine (Phila Pa 1976). 1988 Jul; 13(7):731-6.
2. Altay M., Ozkurt B., Aktekin CN., Ozturk AM., Dogan O., Tabak A.Y. Treatment of unstable thoracolumbar junction burst fractures with short- or long-segment posterior fixation in magerl type a fractures. Eur Spine J. 2007 Aug; 16(8): 1145–1155.
3. Ashafai NS., Visocchi M., Wasik N. Occipitocervical Fusion: an updated review. Acta Neurochir Suppl 2019;125:247-252.
4. Bensch FV, Koivikko MP, Kiuru MJ, Koskinen SK. The incidence and distribution of burst fractures. Emerg Radiol. 2006;12:124–9.
5. Boughton OR, Bernard J, Szarko M (2015). Odontoid process fractures: the role of the ligaments in maintaining stability. A biomechanical, cadaveric study. SICOT J. 1: 11.
6. Cahueque M., Cobar A., Zuñiga C., Caldera G. Management of burst fractures in the thoracolumbar spine. Journal of Orthopaedics 13 (2016) 278–281.
7. Christiansen BA., Bouxsein ML. Biomechanics of Vertebral Fractures and the VertebralFracture Cascade. Curr Osteoporos Rep (2010) 8:198–204.
8. Comín M., Prat J., Soler-G C. et al. (1995) Biomecánica del Raquis y Sistemas reparación. 1º Edición, Instituto de Biomecánica de Valencia, España.
9. Curry WH., Pintar F.A., Doan N.B, Nguyen H.S., Eckardt G., Baisden J.L., Maiman D.J., Paskoff G.R., Shender B.S., Stemper B.D. Lumbar spine endplate fractures: Biomechanical evaluation and clinical considerations through experimental induction of injury. J Orthop Res. 2016 Jun;34(6):1084-91.

6. BIBLIOGRAFÍA

10. Cusick J.F. and Yoganandan N. Biomechanics of the cervical spine 4: Major Injuries. *Clinical Biomechanics* Vol 17, Issue 1 January 2002, Pages 1-20.
11. Denis F. The three column spine and its significance in the classification of acute thoracolumbar spinal injuries. *Spine*. 1983;8:817–31.
12. Dickman C.A., Greene K.A., Sonntag V.K. Injuries Involving the transverse atlantal ligament: Classification and treatment guidelines based upon experience with 39 injuries. *Neurosurgery* 1996 Jan; 38(1):44-50.
13. Dowdell J., Kim J., Overley S., Hecht A. Biomechanics and common mechanisms of injury of the cervical spine. *Hand Clin Neurol* 2018;158:337-344.
14. Ghobrial GM., Lavelle W.F., Florman J.E., Riew K.D., Levi A.D. Symptomatic adjacent level disease requiring surgery: analysis of 10-year results from a prospective randomized, clinical trial comparing cervical disc arthroplasty to anterior cervical fusion. *Neurosurgery* 2019 Feb 1;84(2):347-354.
15. Gonzáles-Montané J.L. What can CT and MRI add to the assessment of symptomatic vertebral compression fracture in osteoporotic patients? From Congress ECR 2014, Number of poster C-0960. DOI: 10.1594/ecr2014/C-0960.
16. Hall GC., Kinsman MJ., Nazar RG., Hruska RT., Mansfield KJ., Boakye M., Rahme R. Atlanto-occipital dislocation. *World J Orthop*. 2015 Mar 18;6(2):236-43.
17. Heary R.F., Sanjeev K. Decision-making in burst fractures of the thoracolumbar and lumbar spine. *Indian J Orthop*. 2007 Oct-Dec; 41 (4): 268-276.

6. BIBLIOGRAFÍA

18. Hilibrand A.S., Carlson G.D., Palumbo M.A., Jones P.K., Bohlman H.H. Radiculopathy and myelopathy at segments adjacent to the site of a previous anterior cervical arthrodesis. *J Bone Joint Surg Am.* 1999 Apr;81(4):519-28.
19. Izeki M., Neo M., Takemoto M., Fujibayashi S., Ito H., Nagal K., Matsuda S. The O-C2 angle established at occipito-cervical fusion dictates the patient's destiny in terms of postoperative dyspnea and/or dysphagia. *Eur Spine J* (2014) 23:328-336.
20. Kaneoka K, Ono K, Inami S, et al. The human cervical spine motion during rear impact collisions: a proposed cervical facet injury mechanism during whiplash trauma. *J Whipl Relat Disord* 2002; 1(1): 85-97.
21. Lei Li, Wen-Fei Liu, Hong-Kun Jiang, Yun-Peng Li. Biomechanical evaluation of four different posterior screw and rod fixation techniques for the treatment of the odontoid fractures. *Int J Clin Exp Med.* 2015;8(6):8571-8580.
22. Luan F, Yang KH, Deng B, et al. Qualitative analysis of neck kinematics during low-speed rear-end impact. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2000;15(9):649-657.
23. Martín-Ferrer S. High cervical spine injuries: classification, therapeutic indications, and surgical approaches: 286 consecutive cases. *Neurocirugia (Astur).* 2006 Oct;17(5):391-419.
24. Miyata M., Neo M., Fujibayashi S., Ito H. Takemoto M., Nakamura T. O-C2 angle as a predictor of dyspnea and/or dysphagia after occipitocervical fusion. *Spine (Phila Pa 1976).* 2009 Jan 15;34(2):184-8.

6. BIBLIOGRAFÍA

25. Nabhan A., Ishak B., Steudel W.L., Ramadhan S., Steimer O. Assessment of adjacent-segment mobility after cervical disc replacement versus fusion: RCT with 1 year's results. *Eur Spine J* (2011) 20:934-941.
26. Nightingale, R, Myers, BS, and Yoganandan, N, Biomechanical Aspects of Cervical Spine Trauma, in *Accidental Injury: Biomechanics and Prevention*, N. Yoganandan, A. Naham, and J.W. Melvin, Editors. 2014, Springer: New York, NY.
27. Obid P., Danyali R., Kueny R., Huber G., Reichl M., Richter A., Niemeyer T., Morlock M., Püschel K., Übeyli H. Hybrid Instrumentation in Lumbar Spinal Fusion: A Biomechanical Evaluation of three different instrumentation techniques. *Global Spine J*. 2017 Feb;7(1):47-53.
28. Pertersilge CA., Emery SE. Thoracolumbar burst fracture: Evaluating stability. *Seminars in Ultrasound, CT and MRI* Volume 17, Issue 2, April 1996, Pages 105-113.
29. Pryputniewicz D.M. and Hadley M.N. Axis Fractures. *Neurosurgery* 2010 Mar;66(3 Suppl):68-82.
30. Rihn JA, Fisher C, Harrop J et al. (2010). Assessment of the posterior ligamentous complex following acute cervical spine trauma. *J Bone Joint Surg Am*. 92: 583–589.
31. Ryba L., Cienciala J., Chaloupka R., Repko M., Vyskocil R. Injury of Upper Cervical Spine. *Soud. Lek* 2016;61(2):20-5.
32. Se Jin Choi, Ji Won Moon, Dalsung Ryu, Chang Hyun Oh, Seung Hwan Yoon. Range of Motion According to the fusion level after lumbar spine fusion: A retrospective study. *Nerve*. 2018;4(2):55-59.

6. BIBLIOGRAFÍA

33. Spitzer WO, Skovron ML, Salmi LR, et al. Scientific mono-graph of the Quebec Task Force on Whiplash-Associated Disorders:redefining “whiplash” and its management. Spine 1995; 20(8Suppl): 1S-73S.
34. Torreti J.A. nd Sengupta D.K. Cervical Spine Trauma. Indian J Orthop 2007 Oct;41(4):255-67.
35. Traynelis, V.C., Marano, G.D., Dunker, R.O., Kaufman,H.H.: Taumatic atlanto-occipital dislocation: Case report. J Neurosurg 1986; 65: 863-870.
36. Tuli S., Charles H.T., Fehlings M.G., Mackay M. Occipital Condyle Fractures. Neurosurgery, Volume 41, Issue 2, August 1997, Pages 368–377.
37. Waseem M., Upadhyay R., Al-Husayni H., and Agyare S. Occipital condyle fracture in a patient with neck pain. Int J Emerg Med. 2014; 7:5.
38. Wenning KE. and Hoffmann M.F. Does isolated atlantoaxial fusion resul in better clinical outcome compared to occipitocervical fusion? Journal of Orthoedic Surgery and Research (2020) 15:8.
39. Yang S.Y., Boniello A.J., Poorman C.E., Chang A.L., Wang S., Passias P.G. A review of the diagnosis and treatment of atlantoaxial dislocations. Global Spine J. 2014 Aug; 4(3): 197–210.
40. Yu WY, Siu CM. Seat belt injuries of the lumbar spine--stable or unstable? Paraplegia. 1989 Dec;27(6):450-6.



El apoyo de la Comisión Europea para la producción de esta publicación no constituye una aprobación del contenido, el cual refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en la misma.

